Anatomisch-physiologische Untersuchungen über den Einfluß des Tabakrauches auf Keimlinge

von

Ambros Purkyt.

Aus dem pflanzenphysiologischen Institute der k. k. Universität in Wien,
Nr. 35 der 2. Folge.

(Mit 2 Tafeln und 2 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 4. Juli 1912.)

I. Einleitung.

In zwei Arbeiten, »Über den Einfluß des Tabakrauches auf die Pflanze«, hat Molisch[1] nachgewiesen, daß besonders Keimlinge, aber auch gewisse erwachsene Pflanzen dem Tabakrauch gegenüber eine hohe Empfindlichkeit bekunden. Die Keimlinge geben in der Rauchluft bei Lichtabschluß wie bei Lichtzutritt die normale Wachstumsweise auf, sie bleiben im Längenwachstum gegenüber den normalen weit zurück, während sie aber jene gleichzeitig im Dickenwachstum sehr stark übertreffen. Außerdem erleiden die Keimlinge in der Rauchluft noch andere Veränderungen, wie sie auch O. Richter[2] in Laboratoriumsluft an seinen Versuchsobjekten

---

[1] H. Molisch, Über den Einfluß des Tabakrauches auf die Pflanze, I. und II. Diese Sitzungsberichte, Bd. CXX, Abt. I (1911), p. 3 bis 30 und p. 813 bis 838.

[2] O. Richter, Pflanzenwachstum und Laboratoriumsluft. Ber. der Deutsch. bot. Ges. (1903), Bd. XXI, H. 3, p. 180; ferner derselbe, Über den Einfluß verunreinigter Luft auf Heliotropismus und Geotropismus. Diese Sitzungsberichte, Bd. CXV, Abt. I (1906), p. 265.

beobachten konnte. In vorliegender Arbeit soll nun gezeigt werden, inwieweit die von Molisch im ersten Teil seiner genannten Abhandlung (p. 10) ausgesprochene Ansicht, »mit diesen makroskopischen Veränderungen gehen mikroskopische Hand in Hand«, ihre Bestätigung findet. Ausgegangen wurde bei den Untersuchungen von einer Erscheinung, die sowohl im Tabakrauch als auch in Laboratoriumsluft sehr häufig auftrat. Molisch und O. Richter haben oft bei ihren Versuchsobjekten beobachten können, wie die epicotylen, beziehungsweise die hypocotylen Stengelchen der Keimlinge im Laufe des Versuches zersprangen. Beide Forscher führen dieses Zerplatzen auf eine hohe Turgorsteigerung in den betreffenden Teilen zurück und O. Richter[1] hat tatsächlich durch Bestimmungen des osmotischen Druckes nachweisen können, daß in der Atmosphäre der Narkotica eine sehr beträchtliche Turgorsteigerung stattfindet. Es war daher am naheliegendsten, die oben zitierten Angaben für die »Tabakrauchpflanzen« zu überprüfen und an sie die anatomischen Untersuchungen anzuschließen. Diese ließen mich alsbald zu der Überzeugung gelangen, daß viele von den auftretenden anatomischen Veränderungen unmittelbar mit der Turgorsteigerung zusammenhängen.

Bevor ich nun auf meine Ergebnisse genauer eingehe, sei hier noch einiges über die Versuchsaufstellung kurz mitgeteilt. Die Anordnung der Versuche war genau dieselbe, wie sie Molisch[2] im ersten Teil seiner Arbeit schildert. Bemerkt sei dazu, daß zu den Untersuchungen ausschließlich Wasserkulturen verwendet wurden, und zwar aus dem Grunde, weil bei Anwendung derselben, wie Molisch[3] nachwies, die äußeren Unterschiede stets in erhöhtem Maße auftraten, und es daher wahrscheinlich war, daß sich allenfalls auftretende Unterschiede in Turgor und Anatomie gleichfalls bei dieser Versuchsanordnung in stärkerem Maße zeigen würden. Mit Ausnahme von *Lens esculenta* wurden die Versuche bei Lichtabschluß durchgeführt. Obgleich bereits sehr geringe Mengen von Tabakrauch genügen, um seine schädliche Wirkung nachweisen zu können, so wurden behufs Verstärkung des Effektes meistens öfter als einmal, wie in Molisch's Versuchen, drei Züge Rauch einer Zigarette unter die Glasglocken gebracht. Die Untersuchungen

[1] O. Richter, Über Turgorsteigerung in der Atmosphäre der Narkotica. Lotos (Prag), Bd. 56 (1908), H. 3, p. 106. Ferner derselbe, Neue Untersuchungen über Narkose im Pflanzenreich. Naturw. Ver. Wien (1911), IX. Jahrg., Nr. 1.

[2] H. Molisch, l. c., p. 5.

[3] H. Molisch, l. c., p. 9.

erstreckten sich auf die Keimlinge folgender Pflanzen: *Cucurbita Pepo — Pisum sativum — Vicia sativa — Phaseolus multiflorus — Lens esculenta.*

II. Turgoruntersuchungen.

A. Die osmotische Druckbestimmungsmethode und ihre Anwendung bei den vorliegenden Versuchen.

Die Turgorbestimmungen wurden nach der Methode von de Vries[1] durchgeführt.

Um jede Turgoruntersuchung mit frisch bereiteten Lösungen durchführen zu können, wurde in größerer Menge eine Normalkalisalpeterlösung hergestellt, die also auf 1000 Teile Wasser 101·16 *g* Kalisalpeter enthält. Von dieser Stammlösung wurden unmittelbar vor jeder neuen Untersuchung in Mengen von je 10 cm^3 0·1, 0·2, 0·3, 0·4 und 0·5 Mol Lösungen hergestellt und annähernd gleich in je zwei kleine durch Korke verschließbare Gläschen verteilt. Die Anfertigung einer solchen Stammlösung bietet außerdem noch den Vorteil, daß sie bakterien- und pilzfrei und damit klar bleibt, wogegen sich in den verdünnteren Lösungen Pilze und Bakterien ungemein rasch einstellen. Trotz dieser Vorsichtsmaßregel können, wie heute wohl feststeht,[2] die Turgoruntersuchungen nach de Vries' klassischer Methode keinen Anspruch mehr auf vollkommene Genauigkeit erheben. Ferner war es im Einklange mit Pfeffer's[3] Erfahrungen nicht möglich, Schnitte herzustellen, in denen bei allen Zellen ein gleiches Maß von Plasmolyse eingetreten war. Alle diese Mängel fallen für die vergleichenden Untersuchungen weniger schwer ins Gewicht, da die Fehler bei der Turgorbestimmung in dem einen wie in dem anderen Falle auftreten. Die Turgoruntersuchung wurde nun entweder an vier oder sechs Stellen einer jeden Pflanze vorgenommen, und zwar im ersten Falle unter dem Vegetationspunkte des Stengels und an seiner Basis. Hier haben die Zellen bereits ihre vollständige Ausbildung erreicht, dann in der Wurzel oben, es ist das jener Teil, der zumeist nicht unter Wasser stand, endlich in der Wachstumsregion der Wurzel. Im zweiten Falle wurde die Turgoruntersuchung im Stengel noch auf seine Wachstumsregion ausgedehnt, während

[1] H. de Vries, Eine Methode zur Analyse der Turgorkraft. Pringsheim, Jahrbücher für Botanik, Bd. XIV (1884), p. 427.

[2] Vgl. L. Jost, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Vorlesung 2 und 32, ferner E. Pantanelli, Zur Kenntnis der Turgorrelationen bei Schimmelpilzen. Jahrb. f. wiss. Botanik (1904), Bd. 40, p. 301 und Fil. Bottazzi, Osmotischer Druck und elektrische Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten der einzelligen pflanzlichen und tierischen Organismen. Ergebnisse der Physiologie. 7. Jahrgang.

[3] W. Pfeffer, Zur Kenntnis der Plasmahaut und Vakuolen, Abhandl. der m.-phys. Kl. d. K. s. G., *16*, p. 187.

in der Wurzel ein beliebiges Mittelstück zur Verwendung kam. Die Untersuchungen wurden nur an Längsschnitten durchgeführt, da bei Querschnitten, wie man bald merkt, die großen, längsgestreckten Zellen zerschnitten werden, womit selbstverständlich die Anwendung der plasmolytischen Methode entfällt. Die Längsschnitte wurden aus den mittleren Partien der betreffenden Stellen hergestellt und rasch der Reihe nach in die bereitstehenden Teillösungen gegeben. Nach Verlauf von einer Stunde wurden die Schnitte auf dem Objektträger unter Deckglas, in ihrer Lösung liegend, der mikroskopischen Untersuchung unterzogen. Die Ergebnisse wurden in Tabellen niedergelegt, von der Art, wie eine beliebig herausgegriffene auf p. 758 wiedergegeben ist.

B. Die Ergebnisse der Turgorbestimmungen bei den Versuchspflanzen.

1. Schon die ersten vergleichenden Turgorbestimmungen bei Kürbis erbrachten, wie ja zu erwarten war, die Bestätigung der von Molisch [1] im ersten Teil seiner diesbezüglichen Arbeit ausgesprochenen Vermutung einer wahrscheinlichen Tugorsteigerung in den Rauchpflanzen. Im Hypocotyl wie in der Wurzel der Rauchkeimlinge konnte oft ein um nahezu 10 Atmosphären höherer Turgor gemessen werden als in den gleichen Stellen der normalen Pflanzen. In noch höherem Maße zeigte sich die Turgorsteigerung bei *Pisum* wie bei den Keimlingen von *Phaseolus, Vicia* und *Lens.*

2. Systematisch tagtäglich durchgeführte Turgorbestimmungen ergaben, daß die auffallenden Turgordifferenzen zwischen den r. L. und R. Keimlingen [2] nicht durch die ganze Versuchsdauer gleich bleiben, sondern sukzessive abnehmen, um schließlich gleich Null zu werden. Dabei bleibt der Turgor während der ganzen Zeit der Untersuchung bei den r. L. Keimlingen annähernd auf gleicher Höhe, bei den Rauchkeimlingen werden dagegen zu Beginn stets sehr hohe Werte ermittelt, im Laufe des Versuches macht sich ein Fallen dieser Turgorwerte bemerkbar und schließlich können in beiden Versuchspflanzen gleiche Turgorwerte festgestellt werden (vgl. Kurve I und II). Das eben geschilderte Abklingen der Differenzen

[1] H. Molisch, l. c., p. 13.

[2] r. L. = reine Luft, daher r. L. Keimlinge = Keimlinge aus der reinen Luft, R. = Rauch, daher R. Keimlinge = Keimlinge aus der Rauchluft.

benötigte bei *Pisum sativum* der ersten Reihe eine Woche, bei der zweiten Reihe vier Tage mehr, bei der dritten Reihe endlich (siehe Kurven) 16 Tage.

Freilich ist bei der beschriebenen Versuchsanstellung ein nicht unwesentlicher Einwand gegen die Versuchsanordnung zu machen, die ich in den Protokollen, p. 754, eingehend schildere. Es kamen nämlich an jedem Tage andere Keimlinge zur Untersuchung, was sich natürlich aus der Tatsache erklärt, daß einmal abgestutzte oder schwer verwundete Pflanzen nicht ein zweites Mal am Tage darauf zur Turgorbestimmung verwendet werden können. Es ist also für

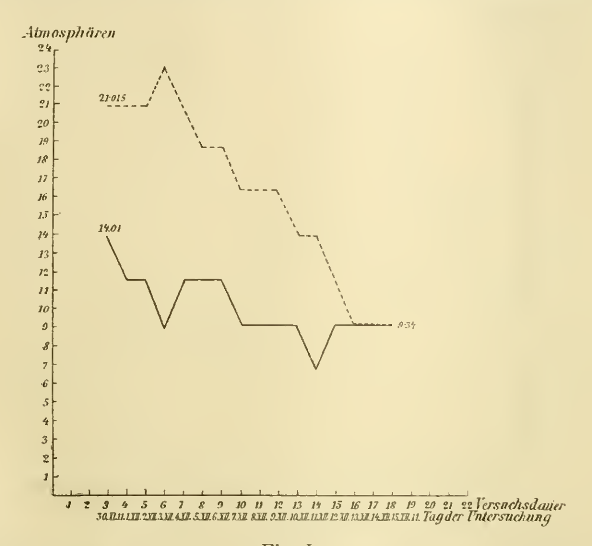


Fig. I.

III. Reihe. Kurven, die die Turgorwerte aus dem Epicotyl von *Pisum sativum* (unterhalb der Streckungszone) in reiner Luft (schwarze Kurve) und in Rauchluft (gestrichelte Kurve) anzeigen. Die Versuchsdauer ist in Tagen, der Turgor in Atmosphären angegeben.

diese Versuchsserien gewissermaßen die stillschweigende Voraussetzung gemacht, daß Keimlinge gleichen Alters und gleichen Entwicklungsstadiums zur selben Zeit auch nahezu die gleichen Turgorverhältnisse und in gleichen Zeitabschnitten Schwankungen im gleichen Sinne aufweisen dürften. Daß tatsächlich eine solche Annahme nicht allzusehr von den wirklichen Verhältnissen abweicht, glaube ich, darf daraus geschlossen werden, daß Wiederholungen der Versuche stets zu gleichen Ergebnissen führten.

3. Das im früheren Abschnitt geschilderte Verhalten des Turgors in den r. L. und R. Keimlingen, die gewaltigen Differenzen zugunsten der R. Keimlinge und ihr allmähliches

Abklingen lassen sich sowohl in der Streckungszone des Stengels wie an seiner Basis und in dem über Wasser befindlichen Wurzelhalse nachweisen, meist auch unter dem Vegetationspunkte des Stengels; merkwürdigerweise zeigte sich aber bei *Pisum sativum* (dritte Reihe), bei dem sonst die größten Turgorwerte im Tabakrauch nachzuweisen waren, in der Zellbildungszone ein Zurückbleiben der Turgorwerte der R. Keimlinge gegenüber denen der r. L. Pflanzen. Die unter Wasser



Fig. 2.

III. Reihe. Kurven, die die Turgorwerte aus der Wurzel von *Pisum sativum* (ober der Wachstumszone) in reiner Luft (schwarze Kurve) und in Rauchluft (gestrichelte Kurve) anzeigen. Die Versuchsdauer ist in Tagen, der Turgor in Atmosphären angegeben.

befindlichen Wurzelpartien zeigten mitunter eine, wenn auch geringe Turgorsteigerung in den R. Keimlingen.

4. In Übereinstimmung mit den einschlägigen Befunden von O. Richter an Keimlingen in Leuchtgasatmosphäre, die ich einer privaten Mitteilung verdanke, ließ sich bei den R. Keimlingen sowohl wie den Keimlingen der r. L. eine deutliche Förderung des Lichtes auf den Turgor nachweisen. Höchst überraschend ist in diesem Falle (Tabelle auf p. 756) — es handelt sich um Versuche mit *Lens esculenta* — das Emporschnellen der Werte der grünen Pflanze rund auf das doppelte

der bei den entsprechenden Dunkelpflanzen ermittelten Drucke. Durch die Kombination von Licht- und Rauchwirkung hat man also ein Mittel in der Hand, den Turgordruck in einer Weise hinaufzuschrauben, daß Werte resultieren, wie sie bei einigen Wüstenpflanzen [1] aufgefunden wurden.

5. Was endlich die Erklärung der Turgordifferenzen und deren Abklingen anlangt, so dürfte wohl die von O. Richter für Leuchtgas, Laboratoriumsluft und andere Narkotica gegebene Erklärung auch bei den R. Pflanzen zu Recht bestehen, daß die von Johannsen, Prianischnikow, Hempel, Grafe und O. Richter [2] für Äther, Chloroform, Leuchtgas, Laboratoriumsluft und Acetylen nachgewiesene chemische Verschiedenheit in der Zusammensetzung der r. L. und Narkoticapflanzen die Ursache der abnormen Turgorsteigerung sei. Das in vorliegender Arbeit zuerst nachgewiesene Abflauen der Turgordifferenzen würde wohl in der Art zu deuten sein, daß eine Kondensierung der osmotisch wirksamen Substanzen vermutlich zu Membransubstanz vor sich geht. Es würde sich diese Vorstellung sehr gut mit den weiter unten beschriebenen Membranverdickungen in den R. Keimlingen in Einklang bringen lassen. Das allmähliche Schwinden des hohen Druckes würde auch mit den Beobachtungen Hempel's [3] über den Einfluß von Äther auf die chemische Zusammensetzung sehr gut übereinstimmen, die eine ähnliche Variation im Vorhandensein der Zucker- und Amidoverbindungen, die ja in erster Linie für den Turgor verantwortlich zu machen sind, nachweisen konnte.

---

[1] H. Fitting, Die Wasserversorgung und die osmotischen Druckverhältnisse der Wüstenpflanzen. Zeitschr. für Bot., 3. Jahrg., H. 4, p. 209 (1911).

[2] V. Grafe und O. Richter, Über den Einfluß der Narkotica auf die chemische Zusammensetzung von Pflanzen. Diese Sitzungsberichte, Bd. CXX, Abt. I., Dezember (1911), p. 1187. Die übrige Literatur siehe daselbst.

[3] J. Hempel, Researches into the effect of etherization on plant-metabolism. Memoires de l'Académie Royale des Sciences et des Lettres de Danemark. Copenhague, 7me série, Section des sciences. T. VI, Nr. 6. p. 213 [1] (1911).

III. Die anatomischen Veränderungen.

A. Der Stengel.

1. Die Größe der Zellen in den Rauchpflanzen.

In seinen beiden Arbeiten hat Molisch[1] oft darauf hingewiesen, daß die Rauchkeimlinge gegenüber den normalen im Längenwachstum sehr zurückbleiben, während sie im Dickenwachstum jene weit übertreffen. Das Dickenwachstum des Stengels könnte nun entweder durch Zellmehrung oder durch Zellvergrößerung hervorgerufen werden. Ein Vergleich der Zellenzahl an Durchmessern von Querschnitten aus gleichen Regionen der r. L. und R. Pflanzen zeigt in Übereinstimmung mit analogen Messungen von O. Richter[2] an Gas- und r. L. Pflanzen, daß sie bei den R. Pflanzen von Kürbis zwischen 58 und 61 schwankt, bei den normalen dagegen zwischen 57 und 60. Auch bei den anderen Versuchsobjekten ging die Differenz nie über zwei bis drei Zellen hinaus. Wir können daher sagen, daß die Zellenzahl durch den Aufenthalt der Keimlinge in Rauchluft nicht geändert wird. Das Dickenwachstum ist somit eine Folge von Zellvergrößerung.

Bei Kürbis war sie die weitestgehende. Durch Vergleich der Figuren (1 *a* und *b*) gewinnen wir eine Vorstellung von den Größenverhältnissen der Zellen in r. L. und R. Luft. Das Schema (Fig. 2 *a* und *b*) stellt zwei Querschnitte aus der gleichen Region des Hypocotyls von Kürbis doppelt vergrößert dar; der Unterschied ist ein außerordentlicher. Die Vergrößerung der Parenchymzellen ging mitunter so weit, daß die Zellen bereits mit freiem Auge sichtbar wurden; Zellen, die über $^1/_3$ *mm* breit waren, wurden häufig angetroffen. Im Durchschnitt betrug die Breite der Parenchymzellen der R. Keimlinge von Kürbis 164 μ, die der r. L. nur 70 μ, woraus sich das Verhältnis 2·3 : 1 ergibt, das man wohl auch erhalten dürfte, wenn man die Querdurchmesser der in Fig. 2 dargestellten Stengelquerschnitte vergleicht.

Vollkommen anders steht es mit den Längenverhältnissen der Parenchymzellen im Hypo-, beziehungsweise Epicotyl. Das geringe Längenwachstum der R. Keimlinge macht sich auch in

[1] H. Molisch, l. c.

[2] O. Richter, siehe p. 6.

den Längendimensionen der Zellen bemerkbar. Die Unterschiede sind nun in allen Regionen des Stengels nicht gleich groß. Je weiter wir uns von der Vegetationsspitze entfernen, desto größer wird der Unterschied in der Zellenlänge. In der Basis des Stengels, wo alle Zellen bereits vollständig gestreckt sind, sind oft die Zellen der r. L. Pflanzen achtmal länger als die der R. Keimlinge. Von meinen Versuchsobjekten zeigten *Vicia* und *Pisum* in dieser Hinsicht die größten Unterschiede. Das Breitenwachstum der Zellen scheint somit durch den Tabakrauch begünstigt, ihr Längenwachstum dagegen gehemmt zu werden. Daß der gesteigerte Turgor, der ja die Ursache der Verbreiterung der Zellen ist, diese nicht auch in der Länge ausdehnt, sondern nur der Breite nach die Zelle verändert, entzieht sich heute wohl jeder Erklärung. Zum Schlusse noch einige Erfahrungen über das Verhalten des Markes in den r. L. und R. Keimlingen. In den Stengeln der r. L. Pflanzen bilden sich bei einem gewissen Alter der Versuchsobjekte gewöhnlich vier oder mehr Hohlräume aus (Fig. 3 *a*), die mit Luft gefüllt sind. In allen untersuchten R. Keimlingen unterblieb die Ausbildung dieser subepidermalen Lufkanäle (Fig. 3 *b*), was jedenfalls damit zusammenhängt, daß die Rauchkeimlinge in keinem einzigen Falle jene Größe erreichten, bei der erst diese Hohlraumbildung beginnt und in der Erfahrung O. Richter's[1] mit Kürbis eine Parallele findet, bei denen in r. L. Markhöhlen auftreten, die in der Gaspflanze niemals zu beobachten sind.

2. Die Epidermis.

Von den Verschiedenheiten im Bau der Epidermiszellen dürften die Figuren 1 (*a* und *b*), 3 (*a* und *b*), 4 (*a* und *b*), 5 (*a* und *b*) und 6 (*a* und *b*) der r. L. und R. Pflanzen am besten Aufschluß geben. Zur Ergänzung des durch deren Betrachtung erworbenen Bildes mögen in Tabellenform noch einige Charaktermerkmale hervorgehoben werden.

---

[1] O. Richter, siehe p. 6.

Versuchspflanze	Epidermiszellen im Querschnitt		Epidermiszellen im Längsschnitt		Gestalt, Begrenzung, Oberfläche der Epidermiszellen	
	r. L.	R. L.	r. L.	R. L.	r. L.	R. L.
Cucurbita . .	schmal	breit	lang	kurz	lang gestreckt, geradlinig, eckig	kurz, krummlinig, abgerundet
Pisum	schmal, kaum erhaben	breiter, papillenartig vorgewölbt	lang	kurz	wie bei *Cucurbita*	wie bei *Cucurbita* oft an einem Ende erweitert
Lens esculenta	wie bei *Cucurbita*	wie bei *Cucurbita*	wie bei *Cucurbita*	wie bei *Cucurbita*	wie bei *Cucurbita* Oberfläche rauh	glatt

Die Epidermiszellen von den Stengeln der übrigen Versuchspflanzen zeigen ein ähnliches Verhalten. Es muß jedoch hervorgehoben werden, daß die papillenartige Vorwölbung nur bei *Pisum* beobachtet werden konnte.

Mit der durch die Fig. 4 und 5 und der in der Tabelle gegebenen Charakteristik der Epidermis stimmt auch sehr gut das Verhalten beim Abziehen der Epidermis überein. Bei den r. L. Pflanzen gelingt es stets ohne Mühe, vom Stengel mit der Pinzette Epidermisstücke von beliebiger Länge abzutrennen, bei den R. Keimlingen dagegen können auf die gleiche Art immer nur ganz kurze Stückchen erhalten werden. Der Zellverband ist infolge der Gestaltsveränderung ein bedeutend lockerer. Diese Erscheinung zeigte sich bei allen Versuchsobjekten gleich gut.

Fragen wir uns nun nach der Ursache aller dieser Veränderungen, so müssen wir wohl den gesteigerten Turgor dafür verantwortlich machen. Ich möchte diese Vermutung insbesondere durch die Beobachtung an den R. Keimlingen von *Pisum* stützen. Ich greife da auf jenen Versuch zurück, dessen Turgorwerte in den Kurven niedergelegt sind. Der Versuch begann am 26. November 1911. Schon am 30. desselben

Monats, also 4 Tage später, konnte in der untersten Region des Epicotyls der Beginn der Vorwölbung festgestellt werden. Am 3. Dezember waren schon auf der ganzen Oberfläche des Stengels mit Ausnahme des obersten Teiles, an dem die Vorwölbung überhaupt nicht auftrat, die papillösen Zellen zu finden. Ziehen wir die Turgorhöhe zum Vergleich heran, so zeigt uns die Kurve in dieser Stengelgegend einen Druck von 18 bis 23 Atmosphären an, der, wie ich sofort bemerken möchte, auch für die Epidermiszellen gilt. Ich habe mich durch eigene Untersuchungen bei *Pisum sativum* überzeugt, daß der Turgor in den Epidermis- und Parenchymzellen annähernd der gleiche ist. Die Fig. 6 (*a* und *b*) scheinen mir noch einer kurzen Erläuterung zu bedürfen. Fig. 6 *a* zeigt die Epidermis eines im Lichte gezogenen normalen Linsenkeimlings,[1] die mit größeren und kleineren Wärzchen bedeckt erscheint, als wäre sie mit Ausscheidungsprodukten der Membran übersät. Es handelt sich jedoch dabei nur um typische Zellulose. Die Membran ist nach außen hin nicht glatt, sondern sie trägt verschieden große Erhöhungen. Fig. 6 *b*, das Gegenstück von einem dem Lichte ausgesetzten R. Keimling weist keine Spur von Warzenbildung auf. Die Außenfläche ist vielmehr glatt, nur hin und wieder war eine Andeutung von Unebenheiten wahrzunehmen. Es hat somit den Anschein, als ob durch Dehnung die rauhe Oberfläche der Membran geglättet würde.

3. Die Spaltöffnungen.

Im engen Zusammenhang mit den eben besprochenen anatomischen Veränderungen der Epidermiszellen stehen jene der Spaltöffnungen, die nun beschrieben werden sollen. Die abnormalen Spaltöffnungen möchte ich mit Stapf[2] »hypertrophierte Spaltöffnungen« nennen, denn wir werden aus dem Folgenden sehen, daß es sich bei ihnen fast genau um dieselben Abänderungen handelt, wie sie Stapf bei seinen unter geänderten

[1] Wie der grüne, normale Linsenkeimling, so besitzt auch der etiolierte, falls er in reiner Luft gezogen wird, eine rauhe Epidermis, während die Epidermis des etiolierten R. Keimlings gleichfalls geglättet erscheint.

[2] Stapf, Beiträge zur Kenntnis des Einflusses geänderter Vegetationsbedingungen auf die Formbildung der Pflanzenorgane. Zool. Bot. Gesell. (1878).

Vegetationsbedingungen gezogenen Kartoffelsprossen vorfand. Durch die Wiederholung der Stapf'schen Versuche konnte O. Richter[1] nachweisen, daß die von Stapf beschriebenen anatomischen Veränderungen in ihrer wahren Ursache nicht erkannt wurden, nachdem damals die schädliche Wirkung der Narkotica und der Laboratoriumsluft noch nicht bekannt war. O. Richter[1] führt alle von Stapf beobachteten Veränderungen auf die Einwirkung des zuletzt genannten Faktors zurück. Die Veränderung der Spaltöffnungen bestand nun vorwiegend darin, daß die beiden Schließzellen sehr stark aufgebläht wurden; dabei krümmten sie sich stark, bis endlich die beiden Enden, die bei der normalen Schließzelle parallel nebeneinander liegen, nun in den abnormen Fällen einander zugekehrt waren. Die eigentliche Spalte der Schließzellen erfuhr dabei die mannigfachsten Veränderungen. Die Fig. 7 (*a* und *b*) zeigen je eine normale und hypertrophierte Spaltöffnung vom Epicotyl der Erbse. Einen Begriff von der Mannigfaltigkeit der Spaltöffnungsformen an den R. Keimlingen mögen die Fig. 8 bis 14 geben.

Gemeinsam ist fast allen diesen Formen die außerordentliche Verbreiterung, die in dem enorm gesteigerten Turgor eine völlig befriedigende Antwort findet. Wie ist es aber mit Formen, wie Fig. 11 eine darstellt? Handelt es sich da um eine wirkliche oder nur scheinbare Ausnahme? Ich glaube, die Ausnahme ist nur eine scheinbare, denn ich kann mir ganz gut vorstellen, daß die Spaltöffnung infolge der Dehnung der Nachbarzellen in ihrer normalen Ausbildung gehindert wurde. Hier hat also der Turgor der Nachbarzelle den Gegendruck der vielleicht noch in Bildung begriffen gewesenen Schließzellen überwunden und sie zerdrückt. Sehr oft traten jene Formen auf, wie sie in Fig. 8 und 10 dargestellt sind, bei denen der Spalt, der bei den normalen Spaltöffnungen parallel zu den Schließzellen gelagert ist, in diesen Fällen senkrecht zu denselben steht; das ist ganz der auch von Stapf beschriebene Spaltöffnungstypus. Bemerkenswert ist endlich noch die Abnormität, die Fig. 9 wiedergibt. Die beiden halbmondförmigen Schließzellen sind in diesem Falle wahrscheinlich durch den Druck der sie umgebenden Zellen aneinander verschoben worden, der Spalt ist vollständig verschwunden. Diese Spaltöffnungen funktionieren wohl nicht mehr, aber auch von allen anderen, früher erwähnten Formen ist anzunehmen, daß sie ihrer Aufgabe nicht mehr vollständig nachkommen können, was natürlich mit einer Schädigung der Keimlinge gleichbedeutend ist. Im Anschluß an das zu Fig. 11 Gesagte möchte ich noch erwähnen, daß die von Nachbarzellen zerquetschten Schließzellen der R. Keimlinge

---

[1] O. Richter, siehe p. 6.

sich in den meisten Fällen als tot erwiesen. Aber auch vollständig ausgebildete Spaltöffnungen an den Stengeln und Blättern von *Pisum, Phaseolus* und *Vicia* waren oft abgestorben, was sie schon makroskopisch durch braune Flecke verrieten, mit denen diese Organe förmlich übersät erschienen. Es handelt sich dabei offenbar um Chromogene, wie sie so häufig beim Absterben beobachtet werden. Häufig griff die Bräunung auch auf die eine Spaltöffnung umgebenden Zellen über; die braunen Flecke gewannen dadurch an Ausdehnung. Diese Tatsache ist um so auffallender, da nach den Untersuchungen von Leitgeb,[1] Molisch,[2] Kindermann[3] und Kluyver[4] den Spaltöffnungen eine größere Widerstandsfähigkeit gegenüber Hitze, Kälte, Giften und ultraviolettem Licht zukommt als den übrigen Epidermiszellen.

4. Haare.

Auch bei den Haaren machte sich die Turgorsteigerung bemerkbar und zwar besonders deutlich bei Kürbis, der mehrzellige Haare besitzt. Ein normales Haar von Kürbis erscheint im Mikroskop geradlinig begrenzt; man könnte es am besten mit einem äußerst fein zugespitzten Kegel vergleichen, der durch Querwände in mehrere Stockwerke geteilt ist. Im Tabakrauch konnte nun häufig beobachtet werden, daß die zwischen den Quermembranen liegenden Zellwände ausgebaucht waren, wodurch die äußere Form des Haares eine wesentlich andere wurde. Eine andere, sehr auffällige Wirkung des Tabakrauches ist die Unterdrückung der Behaarung. Bei allen Versuchsobjekten konnte übereinstimmend festgestellt werden, daß die Haarbekleidung der R. Keimlinge weit hinter der der r. L. Pflanzen zurückblieb. Besonders bei *Vicia sativa* wurden nicht selten Keimlinge gefunden, die keine Spur von Haaren zeigten.

Im allgemeinen sind die jüngsten in Bildung begriffenen Organe des Keimlings stets am stärksten mit Haaren versehen, so besonders die Vegetationsspitze und ihre Umgebung. An diesen Stellen konnten daher die Unterschiede

[1] H. Leitgeb, Beiträge zur Physiologie der Spaltöffnungsapparate. Mitteil. a. d. bot. Inst. zu Graz. Jena (1888), Bd. I, p. 131.

[2] H. Molisch, Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen. Jena (1897), p. 30.

[3] v. Kindermann, Über die auffallende Widerstandskraft der Schließzellen gegenüber schädlichen Einflüssen, Diese Sitzungsberichte, Bd. CXI, Abt. I (1902).

[4] A. J. Kluyver, Beobachtungen über die Einwirkung von ultravioletten Strahlen auf höhere Pflanzen. Diese Sitzungsberichte, Bd. CXX, Abt. I, Dezember (1911), p. 1137.

immer am leichtesten und deutlichsten festgestellt werden. Bei der Linse, mit der, wie p. 740 erwähnt, Versuche bei Lichtzutritt und Lichtabschluß durchgeführt wurden, war es sogar möglich, bezüglich der Intensität der Behaarung eine fallende Reihe aufzustellen. Sie beginnt mit den r. L. Li. K.,[1] führt dann über die r. L. Du. K.[2] zu den R. Li. K.[3] und endet mit den R. Du. K. Die Haare selbst lassen in der Größe und Stärke ihrer Ausbildung einen Unterschied erkennen, und zwar derart, daß die kräftigeren und längeren Haare den normalen Keimlingen zukommen. Merkwürdigerweise erleiden die Drüsen weder im anatomischen Bau noch bezüglich der Intensität ihres Auftretens im Tabakrauch eine Veränderung.

B. Die Wurzel.

5. Die Wurzelhaare.

Anschließend an die großen morphologischen und physiologischen Unterschiede der Wurzel, die schon Molisch[4] beschrieben hat, konnten auch einige mit der Turgorsteigerung zusammenhängende anatomische Veränderungen gefunden werden. Dabei erschienen diese Veränderungen auf die Wurzelhaare beschränkt, was auch die Wahl der Überschrift erklärt. Wie p. 738 und 740 bemerkt, hatte sich gezeigt, daß auch in den Wurzeln Druckdifferenzen nachgewiesen werden konnten. Es darf uns daher nicht wundern, wenn auch die Wurzelhaare eine solche, wenn auch schwache Druckdifferenz aufweisen. Bei der Zartheit der Wurzelhaare machte sich nun auch diese oft sehr geringe Turgorsteigerung in der verschiedensten Art bemerkbar, wobei vielleicht auch die verschiedene Dicke der Membran eine Rolle spielte. Entweder war die Spitze der Wurzelhaare kopfig oder keulig aufgetrieben, oder es fanden sich mehr in der Mitte bauchige Erweiterungen, endlich kamen auch Haare vor, deren Basis stark erweitert war. Oft konnten Wurzelhaare angetroffen werden, die vielfach gekrümmt waren. Die Veränderungen sind aber damit noch nicht erschöpft. Bei *Pisum* und *Phaseolus* konnten besonders in jener Region des Wurzelsystems, die nicht unter Wasser stand, verzweigte Wurzelhaare nachgewiesen werden. Die Figuren 15 bis 18 geben

---

[1] r. L. Li. K. = reine Luft-Licht-Keimling.

[2] r. L. Du. K. = reine Luft-Dunkel-Keimling.

[3] R. = Rauch.

[4] H. Molisch, l. c., I, p. 11.

einige der besprochenen Formen wieder. Diesen Befunden kommt nun, wie mir scheint, ein allgemeines Interesse zu, da derartige Bildungen als Folgen erhöhten Druckes bei Zucht in konzentrierten Lösungen bereits von Schwarz[1] und Wortmann[2] beschrieben wurden, womit, ich möchte sagen, auf Umwegen der Beweis für die Richtigkeit meiner Deutung erbracht erscheint, daß diese Zerrformen auf die durch den Tabakrauch bewirkte Turgorsteigerung zurückzuführen sind. Es ist nun interessant, daß auch Küster[3] durch Behandlung der Wurzel mit verdünnter Sublimatlösung Hypertrophien erzielte, die den von mir beobachteten vollständig gleichen; auch Woycicki's[4] Befunde über Rhizoidenbildung bei *Spirogyra* durch Leuchtgas und Acethylen könnten zum Vergleich herangezogen werden. Erwähnt muß jedoch nochmals werden, daß die verzweigten Wurzelhaare fast nur an jenen Stellen der Wurzel auftraten, die dem Einfluß des Tabakrauches direkt ausgesetzt waren, also in den über Wasser gelegenen, wo der stärkste Druck in der Wurzel überhaupt gemessen wurde; alle übrigen besprochenen Abnormitäten waren auf die unter Wasser stehenden Teile des Wurzelsystems beschränkt. Über eigentümliche Membranverdickungen in den Wurzelhaarspitzen soll p. 750 berichtet werden. Der Einfluß des Tabakrauches macht sich jedoch noch in anderer Weise auf die Ausbildung der Wurzelhaare geltend. Während, wie wir oben gesehen haben, die Haarbildung am Stengel im Rauch gehemmt wird, erfährt die Ausbildung der Wurzelhaare durch den Rauch eine auffällige Förderung. Im allgemeinen wird ja das ganze Wurzelsystem im Tabakrauch in seiner Entwicklung gehemmt, was aber an Wurzeln gebildet wird, das ist vollkommen in einen

---

[1] Schwarz, Die Wurzelhaare der Pflanzen. Tübinger Untersuchungen, Bd. I, H. 2 (1887), p. 35.

[2] Wortmann, Beiträge zur Physiologie des Wachstums. Bot. Zeitg. (1889), Bd. XLVII.

[3] E. Küster, Pathologische Pflanzenanatomie, p. 122.

[4] Z. Woycicki, Beobachtungen über Wachstumsregenerations- und -Propagationserscheinungen bei einigen fadenförmigen Chlorophyceen in Laboratoriumskulturen und unter dem Einfluß des Leuchtgases. Extrait du Bull. de l'académie des sciences de Cracovie. Classe des sciences math. et naturelles. Octobre (1909).

dichten Pelz von Wurzelhaaren gehüllt. Sehr sonderbar mutet es auch an, wenn man sieht, daß die Wurzelhaare der R. Pflanzen bis knapp unter die Wurzelspitze vordringen, während bei den normalen Pflanzen die Wurzelhaare bekanntlich erst 2 bis 4 *cm* hinter der Spitze auftreten.

6. Membranverdickungen als Folge der Tabakrauchwirkung.

Anschließend an das im vorhergehenden Abschnitt über die Wurzelhaare Gesagte seien die Membranverdickungen besprochen, die in den Wurzelhaaren von *Pisum, Phaseolus* und *Vicia* angetroffen wurden. Die Gestalt dieser Membranverdickung, die sich fast ausschließlich nur auf die Spitze des Wurzelhaares beschränkt, ist eine unbestimmte (Fig. 19); sehr häufig wurden jene Fälle beobachtet, wo die Membran der Spitze durch einen inneren Belag gleichmäßig um das doppelte verdickt war. Bei den r. L. Pflanzen konnte in keinem Falle eine ähnliche Beobachtung gemacht werden. Die Membranverdickung bleibt aber nicht auf die Wurzelhaare beschränkt, sondern findet sich auch im Epicotyl, beziehungsweise im Hypocotyl der R. Keimlinge. Das konnte schon aus den Fig. 1 *a* und *b* entnommen werden. Unzweifelhaft sind in diesen Bildern die Membranen der Zellen aus den R. Pflanzen bedeutend dicker als die der r. L. Keimlinge. Die Verdickung ist gleichmäßig.[1] Die eigenartigen collenchymatischen Verdickungen aber, die O. Richter[2] in den Stengeln von *Phaseolus*, *Ricinus*, *Helianthus* und *Cucurbita* vorfand, entstanden im Tabakrauch nicht. Als ich aber zum Studium der Verholzung die Schnitte mit Phloroglucin und Salzsäure behandelte, da trat eine merkwürdige, höchst interessante Erscheinung auf. Trotz vollständig gleicher Behandlung der Schnitte erfolgte in den Schnitten der R. Pflanzen eine äußerst starke Verquellung der Membran, während in den r. L. Keimlingen die Verquellung sehr beschränkt blieb. Vergleichen wir die Querschnitte aus

[1] Merkwürdigerweise konnten bei *Vicia* und *Lens* keine Unterschiede in der Dicke der Membranen festgestellt werden.

[2] O. Richter, siehe p. 6.

dem Epicotyl von *Phaseolus* nach vollständig gleicher Behandlung mit Salzsäure (Fig. 20 *a* und *b*), so bekommen wir eine Vorstellung von dem großen Unterschied in der Verquellung der Zellen in Salzsäure. Wir sehen, daß sich die Verquellung nicht allein auf die Ecken erstreckt, wo collenchymatische Verdickungen entstehen, die Membran der Zelle ist vielmehr überall stark verquollen. Das Bild, das dadurch entsteht, erinnert lebhaft an das von O. Richter[1] beobachtete Collenchym in Gasatmosphäre, ist aber zweifellos etwas ganz anderes, da ich die in der Fig. 20 *b* wiedergegebenen collenchymatischen Verdickungen, ich betone es nochmals, nur durch HCl-Zusatz erhielt. Bei der Linse ging bei den R. Keimlingen die Verquellung der Zellmembranen soweit, daß der Zellinhalt oft vollständig herausgepreßt und jede Grenze zwischen den Zellen verwischt wurde. Diese starke und leichte Quellbarkeit der Membran zeigte sich nun nicht nur im Stengel der R. Keimlinge, auch in deren Wurzeln war sie in gleich schöner und markanter Weise zu beobachten. Wir müssen daher annehmen, daß die Zellulosemembran durch die Einwirkung des Tabakrauches eine physikalisch-chemische Veränderung erleidet, die sich eben in ihrer äußerst starken Quellungsfähigkeit äußert.

7. Das Verhalten der verholzten Membranen in der Tabakrauchatmosphäre.

Abgesehen von der Zellulosemembran erleidet auch die Membran der verholzten Elemente nicht unwesentliche Veränderungen. Zunächst erscheint schon die Zahl der verholzten Elemente in den R. und r. L. Keimlingen gleichen Alters sehr verschieden. In den R. Keimlingen bleibt sie weit hinter der in den r. L. Pflanzen zurück. Es kann dies auf zwei Ursachen zurückgeführt werden. Erstens wäre es denkbar, daß die Verholzung überhaupt in starkem Maße durch den Tabakrauch gehemmt wird, zweitens, daß die verholzte Membran eine derartige chemisch-physikalische Veränderung erleidet, daß sie nicht mehr auf Phloroglucin und Salzsäure in der üblichen Weise reagiert und sich auch den Farbstoffen gegenüber abhold

[1] Siehe p. 6.

erweist. Genau genommen, dürfen wir aber diese Membranen nicht mehr als verholzt bezeichnen. Woycicki[1] hat bei seinen oben angeführten Untersuchungen feststellen können, »daß ganze Serien der Elemente der Holzfasern und Gefäße überhaupt nicht auf Phloroglucin und Salzsäure reagieren, was auf die gänzliche Abwesenheit aller charakteristischesten Bestandteile dieser Art von Membranen hinweist«. Laboratoriumsluft und Tabakrauch wirken somit auch in dieser Richtung in gleicher Weise ein, wie in den zahlreichen anderen Fällen, die schon behandelt wurden.

Am auffälligsten waren die Unterschiede im Auftreten der verholzten Elemente bei *Phaseolus* (Fig. 21 *a* und *b*). In den Keimlingen der r. L. hatte sich schon ein vollständig geschlossener, verholzter Hohlzylinder gebildet, während in den gleichalten R. Keimlingen die Verholzung nur auf die Gefäße der Gefäßbündel beschränkt geblieben war. In der schematischen Zeichnung ist dies derart zum Ausdruck gebracht, daß die verholzten Teile voll ausgezogen sind. Die schematischen Querschnitte von *Lens* (Fig. 22 *a* und *b*) und *Vicia* (Fig. 3 *a* und *b*) geben gleichfalls eine Vorstellung über den Umfang der aufgetretenen Holzreaktion und zeigen gleichzeitig, wie der Querschnitt der einzelnen Pflanzen durch die starke Zelldehnung auch seinem Umrisse nach verändert wird. Die Hemmung der Verholzung erstreckt sich auch auf die Wurzel, wo sehr häufig der Fall zu beobachten war, daß die verholzten Gefäße in den r. L. Pflanzen schon einen geschlossenen, zentralen Holzkörper gebildet hatten, während in den Wurzeln der R. Keimlinge nur wenige Gefäße sich als verholzt erwiesen, die miteinander noch nicht verbunden waren.

Eine analoge Hemmung erfuhr auch die Bastausbildung im Tabakrauch. Am stärksten wurden die Bastfasern in Mitleidenschaft gezogen, bei denen auch die üblichen Holzstoffreaktionen und Färbungen in den Schnitten der R. Keimlinge viel matter ausfielen als in solchen normaler Keimlinge. Überblicken wir die in diesem Abschnitt besprochenen Erfahrungen, so können wir sagen, daß 1. der Tabakrauch auf die Ausbildung von Holz- und Bastelementen hemmend einwirkt, daß er aber auch 2. dort, wo er die Ausbildung solcher Elemente zuläßt, die Ausbildung des »Holzstoffes« erschwert oder verhindert.

Was endlich den Gesamtbau des Gefäßbündels anlangt, so erleidet er im Tabakrauch keine wesentlichen Veränderungen,

[1] Z. Woycicki, l. c., p. 40.

nur ist die normale Lage der einzelnen Teile des Gefäßbündels zueinander infolge des starken Dickenwachstums öfter gestört. Eine regelmäßig auftretende Abnormität konnte jedoch nicht festgestellt werden, weshalb von einer eingehenden Beschreibung der Verlagerungen abgesehen wird.

8. Die cytologischen Verhältnisse.

Es sei mir nun noch gestattet, auf einige auffallende Veränderungen einzugehen, die sich an den Kernen der Rauchpflanzen [1] beobachten lassen. Fig. 23 zeigt einige Kerne aus dem Stengelparenchym eines R. Keimlings von Kürbis. Die Kerne sind mehr oder weniger gelappt, dabei stellen sie wahre Riesen dar gegenüber den in Fig. 24 dargestellten, die aus einem gleichalten r. L. Keimling derselben Pflanze stammen. Fig. 25 zeigt ein an Amitosen erinnerndes Bild, Fig. 26 führt uns eine Zelle vor, die zwei Kerne enthält; es hat den Anschein, daß es hier zu einer tatsächlichen Kernteilung ohne nachfolgende Membranbildung gekommen ist, woraus sich die Doppelkernigkeit der Zellen, die, wie ich bemerken möchte, ziemlich häufig auftrat, erklärt. Alle diese Bilder stimmen mit den von O. Richter [2] bei Leuchtgas- und Laboratoriumsluftpflanzen beobachteten Kernbildern überein und erinnern lebhaft an die von Gerassimoff, Wasielewski, Němec, Blazek etc.... Woycicki [3] beobachteten Formen. Abnorme indirekte Kernteilungsfiguren und Kernverschmelzungen im Bereich der Wurzelspitze, wie sie einerseits Němec [3] in den Wurzeln von *Pisum* vorfand, andererseits Blazek [3] in *Vicia* durch äußere Einflüsse hervorgerufen hat, konnte ich bei keiner meiner Versuchspflanzen trotz der umfassendsten Untersuchungen in dieser

[1] Alle Kernfiguren beziehen sich nur auf Kürbis, bei den anderen Versuchspflanzen wurden nur in sehr wenigen Fällen abnorme Kernverhältnisse festgestellt.

[2] Siehe p. 6.

[3] Literatur siehe O. Richter, Die Ernährung der Algen. Leipzig 1911.

Richtung nachweisen. Das Ergebnis war ein vollständig negatives, wenn man von dem einen Umstande absieht, daß nach einigen vorgenommenen Zählungen in den Wurzelspitzen der R. Keimlinge stets bedeutend weniger Kernteilungsfiguren zu finden waren als in den r. L. Pflanzen. Es stimmt dies gut mit der Hemmung des Wachstums der Wurzel überhaupt überein.

Zur Unterdrückung der Anthokyanbildung habe ich zu dem von O. Richter[1] für die verschiedensten Narkotica und von Molisch[2] für Tabakrauch nachgewiesenen Erscheinungen nichts mehr hinzuzufügen.

Anhang.

Versuchsprotokolle, Tabellen, Kurventafeln.

Um ein klares, übersichtliches Bild der Ergebnisse meiner Turgoruntersuchungen geben zu können, habe ich es in dem betreffenden Abschnitte unterlassen, über die Versuchsanordnung bei *Pisum* näheres mitzuteilen. Ich will dies nun nachholen.

Bei *Pisum* wurden die Versuche in drei Abänderungen durchgeführt. Sie bestanden darin, daß bei der ersten Versuchsreihe vom 19. Oktober 1911 nur ein einziges Mal drei Züge Zigarettenrauch den Keimlingen geboten wurden. Bei der zweiten Reihe vom 6. November 1911 wurden nach jedem dritten Tage aufs neue immer wieder drei Züge Rauch den Pflanzen verabreicht, während bei der dritten Versuchsreihe vom 27. November 1911 täglich je drei Züge Zigarettenrauch unter die betreffenden Glasglocken gebracht wurden. Bemerkt sei noch dazu, daß die Kontrollpflanzen in ganz entsprechender Weise mit frischer Luft versehen wurden. Die Ergebnisse der Turgorbestimmungen der letzten Reihe wurden in den Kurven dargestellt, über die ich weiter unten noch einiges sagen werde. Vorerst mögen zum Belege meiner Befunde zwei Tabellen folgen, die die Resultate der Turgoruntersuchungen der beiden ersten Reihen darstellen. Zum Verständnis der Tabellen sei bemerkt, daß das Alter der Keimlinge und die Versuchsdauer in Tagen angegeben sind. Ep. = Epicotyl, W. = Wurzel, o. = oben, u. = unten. Die Ergebnisse sind in Atmosphären ausgedrückt.

---

[1] O. Richter, l. c.

[2] H. Molisch, l. c., (I und II).

Pisum sativum.

Tag der Untersuchung	Alter des Keimlings	Versuchsdauer	Reine Luft				Rauchluft			
			Ep. o.	Ep. u.	W. o.	W. u.	Ep. o.	Ep. u.	W. o.	W. u.
I. Reihe										
23./X. 1911	7	4	14·01	14·01	11·67	11·67	—	—	16·34	16·34
24./X. »	8	5	14·01	11·67	9·34	9·34	—	21·01	18·68	14·01
25./X. »	9	6	14·01	9·34	9·34	7·005	—	18·68	14·01	16·34
26./X. »	10	7	9·34	11·67	7·005	7·005	—	14·01	14·01	14·01
27./X. »	11	8	11·67	14·01	11·67	9·34	14·01	14·01	14·01	11·67
28./X. »	12	9	11·67	11·67	9·34	11·67	14·01	11·67	9·34	11·67
3./XI. »	13	10	14·01	11·67	9·34	9·34	14·01	11·67	11·67	9·34
II. Reihe										
13./XI. 1911	10	7	16·34	11·67	9·34	7·005	23·35	18·68	14·01	14·01
14./XI. »	11	8	18·68	14·01	9·34	11·67	18·68	18·68	11·67	11·67
15./XI. »	12	9	16·34	11·67	7·005	14·01	18·68	18·68	14·01	11·67
16./XI. »	13	10	14·01	11·67	4·67	11·67	14·01	14·01	9·34	11·67
17./XI. »	14	11	16·34	9·34	7·005	9·34	18·68	14·01	14·01	11·67
18./XI. »	15	12	11·67	9·34	9·34	9·34	14·01	16·34	14·01	11·67
20./XI. »	17	14	16·34	9·34	7·005	9·34	18·68	16·34	14·01	11·67
21./XI. »	18	15	14·01	11·67	11·67	9·34	14·01	11·67	11·67	9·34
22./XI. »	19	16	11·67	11·67	9·34	9·34	11·67	11·67	11·67	9·34
23./XI. »	20	17	9·34	9·34	9·34	9·34	11·67	11·67	9·34	11·67
24./XI. »	21	18	9·34	9·34	9·34	9·34	9·34	9·34	9·34	9·34
25./XI. »	22	19	9·34	9·34	9·34	7·005	9·34	9·34	9·34	9·34

Ich glaube, mir es ersparen zu können, die Turgorwerte der dritten Reihe von *Pisum* in einer analogen Tabelle wiedergeben zu müssen, da ich dieselben in Kurven verwandelt habe, die eine recht gute Vorstellung von dem allmählichen Fallen des hohen Druckes in den Rauchpflanzen geben (Kurve I und II). Nachdem aber meines Wissens noch nie der Versuch gemacht wurde, die Ergebnisse von Turgoruntersuchungen in Kurven wiederzugeben, finde ich es für notwendig, zu der von mir gewählten Darstellung einiges zu bemerken.

Die gestrichelte Kurve bezieht sich auf die Rauchkeimlinge, die voll ausgezogene auf die r. L. Pflanzen. Eine Atmosphäre wurde, wie ja aus der Kurve

selbst ersichtlich ist, mit 5 *mm* gleichgesetzt und auf der Ordinatenachse aufgetragen. Je kleiner dieses Verhältnis gewählt würde, desto flacher würden selbverständlich auch die Kurven werden. Schwankungen im Turgor konnten bei allen untersuchten Pflanzen, sowohl bei denen aus r. L. wie denen aus R. L., festgestellt werden. Daß an unmittelbar aufeinanderfolgenden Tagen aber der Turgor ein oft recht verschiedener war, erklärt sich daraus, daß sich die Angaben auf Gewebe beziehen und nicht auf bestimmte Zellen, ferner, daß auch die Temperatur im Versuchsraum (Vorraum des Glashauses im pflanzenphysiologischen Institut der k. k. Universität in Wien) an den aufeinanderfolgenden Tagen nicht dieselbe war, was mit der Beheizung dieses Raumes im Zusammenhang steht. Es mag endlich etwas befremden, daß die Kurven in der Richtung der Ordinatenachse so große Abweichungen aufweisen, doch bedingen dies eben die oben angegebenen Größenverhältnisse.

Bevor ich auf die Besprechung meiner Protokollführung eingehen will, muß noch über die Versuche mit Linsen, betreffend den Einfluß des Lichtes auf den Turgor der r. L. und R. Pflanzen, einiges mitgeteilt werden.

Bei *Lens esculenta* wurden zum Unterschied von allen anderen Versuchspflanzen die Turgorbestimmungen auch auf im Lichte gezogene Keimlinge ausgedehnt. Der Turgor der grünen Pflanzenzelle ist nun an und für sich schon ein höherer als der einer etiolierten unter sonst gleichen Bedingungen. Demgemäß waren auch die erhaltenen Turgorwerte in den R. und r. L. Keimlingen höher als bei den früher besprochenen Pflanzen. Im Tabakrauch stieg aber der Turgor derart, daß die 0·5 Mol Kalisalpeterlösung nicht mehr ausreichte, um in gewissen Teilen der Keimlinge Plasmolyse hervorzurufen. Es mußten da höhere Konzentrationen angefertigt werden, die dann den gewünschten Erfolg brachten. Zur Vervollständigung seien auch die bei *Lens* gewonnenen Resultate in Tabellen wiedergegeben. Angaben und Abkürzungen wie bei der Tabelle von *Pisum sativum*. Die Größe [1] der Keimlinge ist in Zentimetern angegeben.

Lens esculenta.

Tag der Untersuchung	Alter des Keimlings	Versuchsdauer	Größe des Keimlings	Reine Luft				Größe des Keimlings	Rauchluft			
				Ep. o.	Ep. u.	W. o.	W. u.		Ep. o.	Ep. u.	W. o.	W. u.
I. Kultur im Lichte												
12./III. 1912	8	5	11	18·68	18·68	16·34	11·67	3·5	32·69	28·02	21·01	16·34
13./III. »	9	6	12	18·68	18·68	16·34	11·67	4	28·02	28·02	23·35	16·34
15./III. »	11	8	11·5	18·68	16·34	14·01	11·67	5	23·35	23·35	18·68	16·34
17./III. »	13	10	11·5	18·68	16·34	14·01	11·67	5·5	21·01	18·68	14·01	14·01
19./III. »	15	12	12	18·68	16·34	11·67	9·34	5	23·35	18·68	14·01	11·67

[1] Unter der Größe der Keimlinge ist die ganze Länge (Stengel + Wurzel) zu verstehen.

Tag der Untersuchung	Alter des Keimlings	Versuchsdauer	Größe des Keimlings	Reine Luft				Größe des Keimlings	Rauchluft			
				Ep. o.	Ep. u.	W. o.	W. u.		Ep. o.	Ep. u.	W. o.	W. u.
II. Kultur im Dunkeln												
12./III. 1912	8	5	14	16·34	14·01	9·34	9·34	6	18·68	18·68	14·01	11·67
13./III. »	9	6	16	14·01	11·67	11·67	9·34	5·5	16·34	18·68	14·01	9·34
14./III. »	10	7	18	16·34	11·67	7·005	7·005	6	18·68	16·34	11·67	7·005
15./III. »	11	8	25	16·34	9·34	7·005	7·005	6	18·68	16·34	9·34	9·34
16./III. »	12	9	24	14·01	9·34	9·34	7·005	5·5	18·68	16·34	11·67	9·34

Und nun noch kurz einiges über meine Protokollführung bei den Turgoruntersuchungen. Das auf p. 758 wiedergegebene Protokoll ist ein aus der großen Zahl beliebig herausgegriffenes. Zur Deutung der angewandten Zeichen beachte man folgendes:

War die Plasmolyse so stark, daß das Plasma, zu einer Kugel geballt, entweder gar nicht oder nur an einer Stelle eine Zellwand berührte, so wurde dies mit +++ bezeichnet; war das Plasma wenigstens von einer Zellwand vollständig abgehoben, so zeigen dies ++ an, während + bedeutet, daß die betreffende Lösung eben noch ein Abheben des Plasmas in einer Zellecke bewirken konnte. Der osmotische Druck dieser Lösung wird als annähernd gleich dem der betreffenden Zelle angenommen. Nach den neuesten Bestimmungen [1] entspricht nun einer 0·1 molekularen Lösung von Kalisalpeter ein Druck von 4·67 Atmosphären. Durch einfache Multiplikation dieser Zahl läßt sich somit der Druck einer jeden höher konzentrierten Lösung direkt in Atmosphären angeben.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Hans Molisch für die Zuweisung des Themas sowie für die stete Förderung und Unterstützung meiner Arbeit meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen. Ich fühle mich ferner Herrn Privatdozenten Dr. Oswald Richter für manche Anregung, wie für seine liebevolle Unterstützung der Arbeit zu besonderem Dank verpflichtet. Desgleichen spreche ich Herrn Assistenten Dr. Valentin Vouk und Herrn Demonstrator Josef Gicklhorn für manchen Rat meinen herzlichen Dank aus.

---

[1] L. Jost, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie 1908, p. 496.

Protokoll der Turgoruntersuchung am 29. Februar 1912.

Phaseolus multiflorus Versuchsdauer: 12. bis 29. Februar.

Größenverhältnisse, *a)* der normalen Pflanze: Dicke des Epic. 4 *mm*, Epicotyl 38 *cm*, Hypocotyl 1 *cm*, Wurzel 18 *cm* lang.

b) der Rauchpflanze: Dicke des Epic. 8 *mm*, Epicotyl 7 *cm*, Hypocotyl 1 *cm*, Wurzel 11 *cm* lang.

			Molekulare Lösung von Kalisalpeter				
			0·5	0·4	0·3	0·2	0·1
Reine Luft	Epicotyl	oben	+ + +	+ +	0	0	0
		Mitte	+ + +	+ + +	+ +	+	0
		unten	+ + +	+ + +	+ +	+	0
	Hypocotyl	Mitte	+ + +	+ + +	+ +	+	0
	Wurzel	oben	+ + +	+ + +	+ + +	+ +	+
		unten	+ + +	+ + +	+ + +	+ +	+
Tabakrauch	Epicotyl	oben	+ + +	+ +	0	0	0
		Mitte	+ + +	+ +	+	0	0
		unten	+ +	+	0	0	0
	Hypocotyl	Mitte	+ + +	+ +	+	0	0
	Wurzel	oben	+ + +	+ + +	+ +	+	0
		unten	+ + +	+ + +	+ +	+	0

Zusammenfassung.

Der Tabakrauch, der nach den Untersuchungen von Molisch bei den verschiedensten Pflanzen ungemein auffallende Erscheinungen (Hemmung des Längen-, Förderung des Dickenwachstums, Tropfenausscheidung, chemonastische Bewegungen, Laubfall u. s. f.) hervorruft, wirkt auch auf die anatomischen und physiologischen Eigenschaften von Keimlingen verändernd ein.

1. Wie in der Atmosphäre anderer Narkotica, so kommt es auch im Tabakrauch in den Pflanzenzellen zu einer gewaltigen Turgorsteigerung. Am deutlichsten läßt sich die Turgorsteigerung in den ausgewachsenen Teilen des Keimlings beobachten. Sie beträgt im allgemeinen durchschnittlich 5 bis 10, im Lichte sogar

bis 14 Atmosphären. Der hohe Turgor verliert sich mit der Zeit, bis endlich, eine entsprechend lange Versuchsdauer vorausgesetzt, die Turgordifferenz verschwunden ist.

2. Infolge der starken Turgorsteigerung erfahren die parenchymatischen Zellen eine starke Vergrößerung. Das abnormale Dickenwachstum des Stengels in der Rauchluft ist daher nicht auf Zellvermehrung, sondern auf Zellwachstum zurückzuführen.

3. Auch die Epidermiszellen, die Spaltöffnungen und Haare des Stengels werden durch die Turgorsteigerung stark beeinflußt. Die Epidermiszellen ändern ihre Gestalt und Größenverhältnisse, die Spaltöffnungen hypertrophieren, die Haare endlich zeigen Ausbauchungen und treten in der Rauchluft in geringerer Zahl auf als in reiner Luft. Bei den Wurzelhaaren ist bezüglich des letzten Punktes gerade das Gegenteil zu beobachten. Außerdem finden sich an ihnen Deformationen und unregelmäßige Wandverdickungen.

Eine höchst merkwürdige, chemisch-physikalische Veränderung erfährt die Membran unter dem Einflusse des Tabakrauches, die sich durch ihre äußerst leichte und überaus weitgehende Quellbarkeit in Salzsäure verrät. Auch die Holzbildung unterliegt dem Einflusse des Tabakrauches, indem sowohl die Bildung von Holzsubstanz als auch die Entwicklung von Holzelementen im Stengel wie in der Wurzel gehemmt wird; mutatis mutandis gilt das Gesagte auch vom Bast.

Der Einfluß des Tabakrauches äußert sich schließlich auch an den Kernen. Bei Kürbis werden oft Riesenkerne, die gleichzeitig noch gelappt sein können, beobachtet. Mitunter treten auch an amitotische Teilungsstadien erinnernde Kernbilder auf. In vielen Zellen werden zwei Kerne gefunden.

Figurenerklärung.

Tafel I.

Fig. 1 (*a* und *b*). Stücke aus einem Querschnitt durch das Hypocotyl von Kürbis unterhalb der Wachstumszone; *a* = reine Luft, *b* = Rauchluft. Reichert, Vergr. 340.

Fig. 2 (*a* und *b*). Der ganze Querschnitt aus derselben Region, schematisch. Reichert, Vergr. 2.

Fig. 3 (*a* und *b*). Querschnitte durch das Epicotyl von *Vicia sativa*, schematisch. Die verholzten Teile dunkel ausgefüllt, Bast schraffiert, Luftkanäle leer. Reichert. Vergr. 20.

Fig. 4 (*a* und *b*). Epidermis vom Epicotyl der Erbse aus der Streckungszone. Reichert, Vergr. 140.

Fig. 5 (*a* und *b*). Längsschnitte durch die Epidermis des Epicotyls von *Pisum* unterhalb der Streckungszone. Papillöse Zellen. Reichert, Verg. 170.

Fig. 6 (*a* und *b*). Querschnitte durch das Epicotyl von *Lens*. Normale Epidermis mit rauher Außenfläche. Reichert, Vergr. 340.

Fig. 7 (*a* und *b*). Spaltöffnungen vom Epicotyl der Erbse; *a* = normal, *b* = hypertrophiert. Reichert, Vergr. 340.

Fig. 8. Hypertrophierte Spaltöffnung von *Phaseolus*. Reichert, Vergr. 340.

Fig. 9 und 10. Hypertrophierte Spaltöffnungen von *Vicia sativa*. Reichert, Vergr. 340.

Fig. 11. Spaltöffnung von *Lens escul.*, in der Ausbildung gehindert. Reichert, Vergr. 340.

Fig. 12. Hypertrophierte Spaltöffnung von Kürbis. Reichert, Vergr. 340.

Fig. 13 und 14. Hypertrophierte Spaltöffnungen von *Phaseolus mult.* Reichert, Vergr. 340.

Tafel II.

Fig. 15. Wurzelhaare von Kürbis (Rauchkeimling). Reichert, Vergr. 170.

Fig. 16. Wurzelhaare von *Vicia sat.* (Rauchkeimling). Reichert, Vergr. 170.

Fig. 17 und 18. Wurzelhaare von *Pisum sat.* (Rauchkeimling). Reichert, Vergr. 230.

Fig. 19. Wurzelhaare von *Pisum sat.* mit Membranverdickungen. Reichert, Vergr. 340.

Fig. 20 (*a* und *b*). Querschnitte durch die Epidermis des Epicotyls von *Phas o-lus multifl.* mit dem darunterliegenden Parenchym nach Behandlung mit Salzsäure (*a* und *b* wie bei Fig. 1). Reichert, Vergr. 170.

Fig. 21 (*a* und *b*). Querschnitte durch das Epicotyl von *Phaseolus*, schematisch. (Siehe Fig. 3, Erklärung). Reichert, Vergr. 3.

Fig. 22 (*a* und *b*). Das gleiche von *Lens esc.* Reichert, Vergr. 8.

Fig. 23. Drei große gelappte Kerne aus dem Stengelparenchym von Kürbis (Rauchpflanze). Reichert, Vergr. 340.

Fig. 24. Zwei normale Kerne von Kürbis. Reichert. Vergr. 340.

Fig. 25. Ein Riesenkern aus dem Stengelparenchym von Kürbis, an direkte Kernteilung erinnernd. Reichert, Vergr. 400.

Fig. 26. Eine Parenchymzelle von Kürbis mit zwei Kernen. Reichert, Vergr. 170.